

ZMIANY ZDOLNOŚCI PRZECIWRODNIKOWEJ, ZAWARTOŚCI
POLIFENOLI I BARWY W CZASIE PRZECHOWYWANIA SUSZU
JABŁKOWEGO UZYSKANEGO PRZY WYKORZYSTANIU
PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Małgorzata Nowacka, Dorota Witrowa-Rajchert

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa
e-mail: malgorzata_nowacka@sggw.pl

Streszczenie. W pracy badano zmiany aktywności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli oraz barwy w czasie przechowywania suszu jabłkowego uzyskanego przy wykorzystaniu promieniowania podczerwonego. Badania wykazały, że suszenie spowodowało zmniejszenie zawartości polifenoli i zdolności przeciwrodnikowej w tkance jabłka. Natomiast przechowywanie przez 12 miesięcy nie wpłynęło istotnie na zdolność przeciwutleniającą suszonego jabłka oraz zawartość polifenoli w jabłkach przechowywanych w temperaturze 25 i 40°C. Jedynie niższa temperatura przechowywania spowodowała istotne zmniejszenie zawartości polifenoli po roku przechowywania. Suszenie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego spowodowało ciemnienie tkanki jabłka i wzrost wartości współrzędnych barwy a^* i b^* . Natomiast w czasie przechowywania w niższych temperaturach produkt jaśniał, a w temperaturze 40°C susz ulegał ciemnieniu i wzrastała wartość współrzędnej a^* . Wartości współrzędnej b^* ulegały znacznemu zmniejszeniu, niezależnie od zastosowanej temperatury przechowywania. Susz promiennikowo-konwekcyjny przechowywany w temperaturze 25°C charakteryzował się największą stabilnością.

Słowa kluczowe: suszenie promiennikowo-konwekcyjne, zawartość polifenoli, zdolność przeciwrodnikowa, barwa, przechowywanie.

WSTĘP

W ostatnich latach wśród konsumentów wzrasta zainteresowanie produktami bogatymi w naturalnie występujące składniki biologicznie aktywne, zwłaszcza o działaniu przeciwutleniającym (Gębczyński 2007, Kalisz i Kurowska 2005). Owoce i warzywa są ważnym źródłem przeciwutleniaczy (Silvina i Balz 2004). Zastosowanie suszenia daje możliwość w łatwy sposób, w krótkim czasie i z za-

chowaniem odpowiedniej jakości utrwalić takie surowce (Janowicz i Lenart 2007, Chua i Chou 2003). Niestety, właściwości bioaktywne składników żywności mogą ulegać znacznym zmianom w czasie procesu technologicznego (Oszmiański, 2007), w tym również suszenie (Kuljarachanan i in. 2009). Badania przeprowadzone dla owoców borówki wysokiej (Ścibisz i Mitek 2006), gruszek (Kopera i Mitek 2007), limonki (Kuljarachanan i in. 2009) oraz oregano (Jałoszyński i in. 2008) wykazują, że takie procesy jak odwadnianie osmotyczne, blanszowanie oraz suszenie obniża zawartość polifenoli i pojemność przeciwutleniającą owoców.

Suszenie jest najstarszą metodą utrwalania żywności, która również obecnie jest ważnym procesem w przemyśle spożywczym (Lewicki 2006, Vega-Mercado i in. 2001). Wiele branż wykorzystuje ten proces w określonych, najczęściej końcowych etapach produkcji żywności. W czasie suszenia następuje zmniejszenie masy i objętości suszonych materiałów, co obniża koszty pakowania, ułatwia transport i magazynowanie (Witrowa-Rajchert 1999).

Stabilność przechowalnicza suszonej żywności zależy od końcowej wilgotności produktu oraz warunków przechowywania, wśród których decydujące znaczenie mają temperatura, wilgotność, dostęp światła, rodzaj otaczającej atmosfery oraz zastosowane opakowanie. Zmiany w wyglądzie produktów przetworzonych wpływają na akceptację konsumencką, ale przede wszystkim są wskaźnikiem przemian chemicznych, które prowadzą do obniżenia wartości sensorycznej i odżywczej. Niekorzystne zmiany w żywności mogą być ograniczone przez prawidłowe prowadzenie procesów przetwórczych, a szczególnie właściwy dobór warunków przechowywania (Kalt 2005).

Wraz z wydłużeniem czasu przechowywania suszy ilość substancji odżywczych maleje (Wang 2006). Badania suszonych śliwek (Chaudry i in. 1998), pietruszki (Kmieciak 1995) czy papryki (Daood i in. 1996) wykazują, iż w czasie przechowywania następują znaczne straty witaminy C. W związku z utratą witaminy C oraz przemianami związków polifenolowych w czasie przechowywania, znacznemu zmniejszeniu może ulegać również zdolność przeciwutleniająca żywności (Ścibisz i Mitek 2005).

Nowoczesną metodą suszenia, która pozwala na uzyskanie suszu w czasie nawet o połowę krótszym od suszenia tradycyjnego jest suszenie z wykorzystaniem promienia podczerwonego (Nowak i Lewicki 2004). Doniesienia dotyczące suszenia promieniami podczerwonymi najczęściej dotyczą badania kinetyki suszenia oraz wybranych wskaźników jakości materiału bezpośrednio po procesie, natomiast na temat jakości przechowalniczej takich suszy jest niewiele informacji w literaturze naukowej.

Celem pracy było zbadanie zmian aktywności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli oraz barwy w czasie przechowywania suszu jabłkowego uzyskanego przy wykorzystaniu promieniowania podczerwonego.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto jabłek odmiany Idared. Owoce myto, obierano i wykrawano plastry o średnicy 30 mm i grubości $5,0 \pm 0,5$ mm. Pokrojony materiał zanurzano w 0,1 % roztworze kwasu cytrynowego, w celu zabezpieczenia przed reakcjami brunatnienia enzymatycznego. Następnie osuszano materiał na bibule, układano na sitach i suszono.

Zastosowano suszenie promiennikowo-konwekcyjne, które prowadzono stosując odległość źródła promieniowania od powierzchni suszonego materiału wynoszącą 20 cm, przepływ nieogrzewanego powietrza o prędkości $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, równoległy do warstwy materiału. Źródłem promieniowania podczerwonego było dziewięć lamp o mocy 175 W każda i średnicy 125 mm, ustawionych szeregowo w trzech rzędach. Suszenie prowadzono do uzyskania zawartości suchej substancji wynoszącej $91,1 \pm 0,9\%$.

Otrzymane susze przechowywano w torebkach PE/Al/PE. Podczas pakowania w urządzeniu komorowym usuwano powietrze i zgrzewano. Tak zapakowane susze przechowywano w trzech temperaturach: 4, 25 i 40°C . Susze przechowywano przez 12 miesięcy, a po 1, 3, 6 i 12 miesiącach przeprowadzono badania, obejmujące zmiany zdolności przeciwrodnikowej, zawartości polifenoli i barwy.

Właściwości przeciwrodnikowe oznaczano metodą polegającą na określeniu stopnia wygaszania wolnych rodników DPPH^{*} przez przeciwutleniacze zawarte w surowych jabłkach i suszach w czasie 30 minut, zgodnie z metodyką podaną przez Brand-Williams i in. (1995). Zawartość związków polifenolowych oznaczano metodą Folina-Ciocalteu'a (Sluis i in. 2002), stosując jako wzorzec kwas chlorogenowy. Oznaczenie zdolności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli powtarzano 6-cio krotnie, a otrzymany wynik przeliczano na zawartość suchej substancji. Barwę materiału surowego, suszonego i po przechowywaniu określano za pomocą chromometru typu CR-300 firmy Minolta (45 pomiarów dla każdej próbki). Barwę mierzono w systemie CIE L^{*}a^{*}b^{*} dla oświetlenia standardowego C.

Analizę statystyczną wyników przeprowadzono przy zastosowaniu testu t-Studenta, dwuczynnikowej analizy wariancji i procedury Duncana przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI I DYSKUSJA

Suszenie promieniami podczerwonymi jest uważane jako metoda suszenia, gwarantująca uzyskanie wysokiej jakości suszonej żywności, w szczególności owoców, warzyw i zbóż (Toğrul 2006).

Właściwości bioaktywne składników żywności mogą ulegać znacznym zmianom w czasie procesu technologicznego. Podczas suszenia tkanki jabłka następuje zmniejszenie zawartości polifenoli, które istotnie wpływają na zdolność przeciwrodnikową. Zawartość polifenoli i aktywność przeciwrodnikowa surowej tkanki jabłka była równa odpowiednio $1382 \pm 214 \text{ mg} \cdot (100 \text{ g s.s.})^{-1}$ i $3,12 \pm 0,45 \text{ mg s.m.}$ Bezpośrednio po suszeniu zdolność przeciwrodnikowa i zawartość polifenoli suszu zmniejszyła się odpowiednio o 38 i 20%.

Generalnie, w czasie przechowywania surowców i produktów ilość substancji odżywczych maleje (Wang 2006). Jednak charakter zmian zdolności przeciwutleniającej w suszonych produktach jest nieco inny niż w surowych i zależy od rodzaju produktu i warunków przechowywania. Początkowo, w związku z utlenianiem witaminy C oraz przemianami związków polifenolowych w czasie przechowywania, zdolność przeciwutleniająca żywności może ulegać znacznemu zmniejszeniu (Ścibisz i Mitek 2005). Po dłuższym okresie przechowywania często następuje wzrost zdolności przeciwutleniającej, związany z powstawaniem związków o charakterze przeciwutleniaczy, w wyniku np. reakcji Maillarda czy brązowienia enzymatycznego (Acevedo i in. 2008, Wang 2006).

Przechowywanie spowodowało zmniejszenie zdolności przeciwutleniającej, jednak zmiany te nie były statystycznie istotne. Podobnie, zawartość polifenoli w czasie przechowywania suszu promiennikowo-konwekcyjnego najczęściej zmniejszała się (tab. 1). Największy ubytek polifenoli stwierdzono przy przechowywaniu suszu przez dłuższy czas w najniższej temperaturze przechowywania i był on istotny statystycznie, w porównaniu z zawartością polifenoli w suszu bezpośrednio po suszeniu. Można stwierdzić, że nie nastąpiły istotne zmiany zawartości polifenoli w suszach przechowywanych w temperaturze 25 i 40°C. Ponadto dwuczynnikowa analiza wariancji nie wykazała wpływu czasu i temperatury przechowywania na zdolność przeciwutleniającą oraz zawartość polifenoli suszu promiennikowo-konwekcyjnych.

W czasie suszenia, pod wpływem temperatury i natlenienia surowca, następuje przyspieszenie ciemnienia produktu spowodowanego działaniem oksydazy polifenolowej oraz nieenzymatycznym brązowieniem (Perera 2005, Sapers i in. 2002). Suszenie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego powoduje ciemnienie tkanki i otrzymuje się produkt o ciemniejszej barwie od suszu otrzymanego metodą konwekcyjną (Nowak i Lewicki, 2005). Zastosowanie promieni podczerwonych do suszenia badanej tkanki jabłka także spowodowało jej ciemnienie (tab. 2). Promieniowanie podczerwone mogło spowodować powstanie na

powierzchni jabłek brunatnych związków, co było przyczyną obniżenia jasności próbek (Nowak i Lewicki, 2005).

W tkance jabłek w czasie suszenia następowały istotne statystycznie zmiany wartości współrzędnych barwy a^* i b^* . Wartość a^* surowych jabłek wynosiła - 5,7, natomiast suszenie spowodowało jej zmniejszenie. Zmiana współrzędnej a^* mogła być związana z tworzeniem się barwnych związków (Vadivambal i Jayas, 2007). Suszenie przy wykorzystaniu promieni podczerwonych spowodowało także znaczny wzrost wartości współrzędnej b^* , wynoszący 31% (tab. 2).

Tabela 1. Zmiany zdolności przeciwrodnikowej i zawartości polifenoli w suszonym jabłku podczas przechowywania

Table 1. Changes of radical scavenging activity and polyphenols content in infrared-convective dried apples during storage

Czas przech. (miesiąc) Storage time (month)	Zdolność przeciwutleniająca (mg s.s.) Radical scavenging activity (mg d.m.)			Zawartość polifenoli (mg·100 g s.s. ⁻¹) Polyphenols content (mg 100 g d.m. ⁻¹)		
	Temperatura przechowywania – Storage temperature (°C)					
	40	25	4	40	25	4
0	4,30±0,39 A	4,30±0,39 A	4,30±0,39 A	1099±43 a	1099±43 a	1099±43 a
1	4,38±0,05 A	4,42±0,10 A	4,35±0,09 A	1089±107 a	1038±16 a	1079±112 a
3	4,69±0,12 A	4,44±0,11 A	4,43±0,14 A	997±56 a,b	918±79 b	1112±111 a
6	4,69±0,08 A	4,38±0,17 A	4,66±0,13 A	991±15 a,b	1157±64 a	895±65 b
12	4,42±0,14 A	4,32±0,07 A	4,66±0,11 A	1002±69 a,b	976±17 a	893±123 b

A, a, b – te same litery wskazują grupy jednorodne – the same letters denote homogeneous groups.

Tabela 2. Jasność i współrzędne chromatyczne surowego jabłka i suszu konwekcyjno-promiennikowego

Table 2. Lightness and chromatic parameters of raw and infrared-convective dried apples

Parametry barwy Chromatic parameters	L*		a*		b*	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Surowe jabłko – Fresh apple slices	81,9 a	1,5	-5,7 a	0,4	22,7a	1,7
Promiennikowo- konwekcyjne Infrared-convective	78,2 b	1,1	4,7 b	1,0	30,4 b	1,1

a, b – te same litery wskazują grupy jednorodne – the same letters denote homogeneous groups.

Barwa suszu w czasie przechowywania, w zależności od zastosowanej temperatury, ulegała istotnym zmianom. Parametr barwy (L^*), odpowiedzialny za jasność suszu jabłkowego przechowywanego w niższych temperaturach, tj. 4 i 25°C, ulegał pod koniec okresu przechowywania niewielkiemu, ale istotnemu wzrostowi, odpowiednio o 6 i 3,5%, w porównaniu z materiałem bezpośrednio po suszeniu (tab. 3). W czasie przechowywania w niższych temperaturach produkt jaśniał, przy czym stabilniejszą barwą wykazywał się susz przechowywany w temperaturze 25°C. Natomiast w temperaturze 40°C susz promiennikowy ciemniał. Już po 3 miesiącach różnica jasności była istotna, w porównaniu do suszu wyjściowego. Dla produktu tak przechowywanego wartość L^* uległa obniżeniu o około 19% pod koniec okresu przechowywania. Jednak dwuczynnikowa analiza wariancji nie wykazała istotnego wpływu temperatury i czasu przechowywania na parametr barwy L^* . Podobne zjawisko, wyjaśnienia produktu w czasie 6-cio miesięcznego przechowywania, zaobserwowali Nowak i Lewicki (2005). Otrzymali produkt o barwie jaśniejszej niż przed przechowywaniem, co mogło być spowodowane fizycznymi zmianami przechowanego materiału albo przemianami brązowych pigmentów tworzonych podczas suszenia.

Współrzędna barwy a^* także ulegała istotnym zmianom (tab. 3). Na zmiany współrzędnej barwy a^* nie miała statystycznie istotnego wpływu zarówno temperatura, jak i czas przechowywania, co wykazała dwuczynnikowa analiza wariancji. Jednak pod koniec okresu przechowywania wartość współrzędnej a^* wzrosła istotnie od 4,7 do 9,7. Największą stabilnością tej współrzędnej charakteryzował się susz przechowywany w temperaturze 25°C. Po 12 miesiącach wartość a^* nie uległa istotnej zmianie w stosunku do suszu przed przechowywaniem. Natomiast w przypadku suszu przechowywanego w temperaturze 4°C nastąpił nieznaczny, choć istotny spadek wartości współrzędnej a^* w czasie przechowywania.

Podczas przechowywania suszu promiennikowo-konwekcyjnego następował znaczący spadek wartości współrzędnej b^* (tab. 3). Analiza wariancji wykazała, że tylko temperatura wpływała istotnie na te wartości. Mniejszymi zmianami współrzędnej b^* charakteryzowały się susze przechowywane w temperaturze 40 i 25°C, dla których wartość b^* zwiększała się po 12 miesiącach przechowywania odpowiednio o 20 i 18% (tab. 3). Natomiast podczas przechowywania w temperaturze 4°C nastąpiło znaczne zmniejszenie wartości współrzędnej b^* , o prawie 30%.

Na kształtowanie się barwy mają wpływ występujące w tkance związki polifenolowe (Viña i Chaves 2006, Kalisz i Kurowska 2005, Perera 2005). Jednak przy tak małym zróżnicowaniu zawartości polifenoli w przypadku prezentowanych badań nie stwierdzono istotnych korelacji między zawartością polifenoli i jasnością suszy promiennikowo-konwekcyjnych.

Tabela 3. Zmiany parametrów barwy L*, a*, b*
Table 3. Changes of colour parameters L*, a*, b*

Czas przech. (miesiąc) Storage time (month)	Parametry barwy – Chromatic parameters								
	L*			a*			b*		
	Temperatura przechowywania – Storage temperature (°C)								
	40	25	4	40	25	4	40	25	4
0	78,2	78,2	78,2	4,7	4,7	4,7	30,4	30,4	30,4
	±1,1	±1,1	±1,1	±1,0	±1,0	±1,0	±1,1	±1,1	±1,1
	d	d	d	b,c	b,c	b,c	a	a	a
1	78,7	79,9	77,8	4,5	3,0	4,4	27,0	26,4	27,5
	±0,3	±1,4	±0,5	±0,7	±0,7	±0,6	±1,2	±0,5	±0,5
	d,e	e,f	d	b,c	a	b,c	c,d,e	d,e,f	b,c,d
3	75,9	80,4	76,2	6,2	4,0	5,3	29,0	29,0	30,0
	±0,1	±0,3	±2,6	±0,3	±0,2	±0,3	±0,5	±0,1	±1,1
	c	f	c	d	a,b	c,d	a,b	a,b	a
6	68,6	81,6	80,3	8,4	4,4	3,8	27,6	28,3	25,5
	±0,7	±0,8	±0,4	±0,2	±0,5	±0,5	±0,1	±0,8	±0,6
	b	f,g	e,f	e	b,c	a,b	b,c,d	b,c	e,f,g
12	63,0	80,8	82,8	9,7	4,8	3,0	24,2	25,0	21,5
	±0,6	±0,1	±0,8	±0,5	±0,2	±0,7	±0,9	±0,5	±1,7
	a	f	g	f	b,c	a	g	f,g	h

a, b, c, d, e, f, g – te same litery wskazują grupy jednorodnie – the same letters denote homogeneous groups.

WNIOSKI

1. Suszenie promiennikowo-konwekcyjne tkanki jabłka spowodowało zmniejszenie zawartości polifenoli i zdolności przeciwrodnikowej.

2. Przechowywanie nie wpłynęło istotnie na zdolność przeciwutleniającą suszonego jabłka. Zawartość polifenoli w jabłkach przechowywanych w temperaturze 25 i 40°C także nie uległa zmianie. Jedynie niższa temperatura przechowywania spowodowała istotne zmniejszenie zawartości polifenoli w końcowym czasie przechowywania.

3. Suszenie z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego spowodowało zmniejszenie parametru L* tkanki jabłka i wzrost wartości współrzędnych barwy a* i b*.

4. W czasie przechowywania w niższych temperaturach 4 i 25°C, produkt jaśniał i zmniejszała się wartość współrzędnej a, natomiast w temperaturze 40°C susz ulegał ciemnieniu, co łączyło się ze zwiększaniem się wartości a*. Natomiast wartość współrzędnej b* ulegała znacznemu zmniejszeniu, niezależnie od zastosowanej temperatury przechowywania.

5. Najbardziej stabilną barwą charakteryzował się susz przechowywany w temperaturze 25°C.

6. Nie stwierdzono korelacji między zawartością polifenoli i jasnością przechowywanych suszy promiennikowo-konwekcyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- Acevedo N.C., Briones V., Buera P., Aguilera J.M. 2008. Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs. *J. Food Eng.*, 85, 222-231.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm.-Wiss. U. – Techn.*, 28, 25-30.
- Chaudry M.A., Bibi N., Khan F., Sattar A. 1998. Phenolics and quality of solar cabinet dried persimmon during storage. *Italian J. Food Sci.*, 10(3), 269-275.
- Chua K.J., Chou S.K. 2003. Low-cost drying methods for developing countries. *Trends Food Sci. Technol.*, 14, 12, 519-528.
- Daood H.G., Vinkler M., Markus F., Hebshi E.A., Biacs P.A. 1996. Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors. *Food Chem.*, 55(4), 365-372.
- Gębczyński P. 2007. Content of selected antioxidative compounds in green asparagus depending on processing before freezing and on the period and conditions of storage. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 57, 2, 209-214.
- Jałoszyński K., Figiel A., Wojdyło A. 2008. Drying kinetics and antioxidant activity of oregano. *Acta Agrophysica*, 2008, 11(1), 81-90.
- Janowicz M., Lenart A. 2007. Rozwój i znaczenie operacji wstępnych w suszeniu żywności. *Właściwości Fizyczne Suszonych Surowców i Produktów Spożywczych*, (red. B. Dobrzańskiego, L. Mieszkalskiego), Wyd. Naukowe FRNA, Lublin, 15-33.
- Kalisz S., Kurowska M. 2005. Zmiany zawartości związków fenolowych i witaminy C w sokach i półkoncentratkach truskawkowych podczas ich przechowywania. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(43), 62-71.
- Kalt W. 2005. Effect of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *J. Food Sci.*, 70, 1, 11-19.
- Kmieciak W. 1995. The effect of drying temperature and storage period of dried parsley leaves on vitamin C content. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 28(3), 235-241.
- Kopera M., Mitek M., 2007. Wpływ procesu odwadniania osmotycznego na zawartość polifenoli w suszach gruszkowych (*Pyrus communis* i *Pyrus pyrifolia*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(54), 213-221.
- Kuljarachanan T., Devahastin S., Chiewchan N., 2009: Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chem.*, 113(4), 944-949.
- Lewicki P.P. 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 17(4), 153-163.
- Nowak D., Lewicki P.P. 2004. Infrared drying of apple slices, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5(3), 353-360.

- Nowak D., Lewicki P.P. 2005. Quality of infrared dried apple slices. *Drying Technol.*, 23(4), 831-846.
- Oszmiański J. 2007. Wpływ obróbki termicznej na zawartość przeciwutleniaczy w produktach spożywczych. Zachowanie przeciwutleniaczy w produkcji soków i przecierów z jabłek i z owoców kolorowych. *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne* (red. W. Grajek), WNT, Warszawa, 441-452.
- Perera C.O. 2005. Selected Quality Attributes of Dried Foods. *Drying Technol.*, 23(4), 717-730.
- Sapers G.M., Hicks K.B., Miller R.L. 2002. Antibrowning agents. *Food additives* (eds. A.L. Brane, P.M. Davidson, S. Salminen, J.H. Thorngate), Marcel Dekker, Inc., New York, 543-561.
- Ścibisz I., Mitek M. 2005. Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w dżemach otrzymanych z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.) oraz ich zmiany podczas przechowywania. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(43), 210-221.
- Ścibisz I., Mitek M. 2006. Aktywność przeciwutleniająca i zawartość związków fenolowych w suszach z owoców borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(49), 68-76.
- Silvina B.L., Balz F. 2004. The increase in human plasma antioxidant capacity after apple consumption is due to the metabolic effect of fructose on urate, not apple-derived antioxidant flavonoids. *Free Radical Biol. Med.*, 37(2), 201-203.
- Sluis A., Dekker M., Skrede G., JongenW. 2002. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. Effect of existing production methods. *J. Agric. Food. Chem.*, 50(25), 7211-7214.
- Toğrul H. 2006. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *J. Food Eng.*, 77, 610-619.
- Vadivambal R., Jayas D.S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products – a review. *Biosystems Eng.*, 98, 1-16.
- Vega-Mercado H., Angora-Nieto M.M., Bartosa-Cánovas G.V. 2001. Advanced in dehydration of food. *J. Food Eng.*, 49, 271-289.
- Viña S.Z., Chaves A.R. 2006. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage. *Food Chem.*, 94, 68-74.
- Wang S.Y. 2006. Fruits with high antioxidant activity as functional foods. *Functional Food Ingredients and Nutraceuticals: Processing Technologies (Functional Foods and Nutraceuticals)* (ed. J. Shi), Taylor & Francis Group, LLC, 371-413.
- Witrowa-Rajchert D. 1999. Rehydracja jako wskaźnik zachodzących w tkance roślinnej w czasie suszenia. *Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa*, 1-71.

CHANGES OF RADICAL SCAVENGING ACTIVITY, POLYPHENOLS CONTENT AND COLOUR DURING STORAGE OF INFRARED-CONVECTIVE DRIED APPLES

Małgorzata Nowacka, Dorota Witrowa-Rajchert

Department of Food Engineering and Process Management, Faculty of Food Sciences,
Warsaw University of Life Sciences
ul. Nowoursynowska 159 C, 02-776 Warszawa
e-mail: malgorzata_nowacka@sggw.pl

Abstract. Changes of radical scavenging activity, polyphenols content and colour during storage of dried apples obtained by using infrared radiation were investigated in the study. It was shown that drying caused a decrease in radical scavenging activity and polyphenols content in apple

tissue. However, storage for 12 months did not influence significantly the radical scavenging activity and polyphenols content in apples stored at 25 and 40°C. The lower storage temperature resulted in a significant reduction in polyphenols content after one-year storage. Infrared-convective drying resulted in a darkening of apple tissue and an increase of the colour parameters a^* and b^* . However, the product lightened during storage at lower temperatures, and dried apples darkened and increased value of a^* only at 40°C. The values of b^* were significantly reduced, regardless of the storage temperature. Infrared-convective dried apples stored at 25°C were characterized by the greatest stability.

Keywords: infrared-convective drying, polyphenols content, radical scavenging activity, colour, storage